

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Fleischer, Helmut**

## **Optimierung von Vorsatzschalen aus Beton**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105494>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

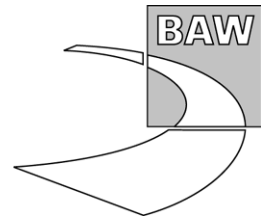
Fleischer, Helmut (2004): Optimierung von Vorsatzschalen aus Beton. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Instandsetzung von Wasserbauwerken. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 27-30.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.





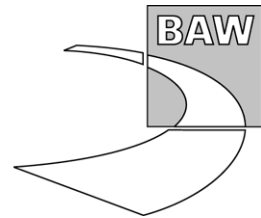
Dr.-Ing. H. Fleischer, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

### **Optimierung von Vorsatzschalen aus Beton**

Zerstörte Oberflächen an massiven Schleusen, Wehren und anderen Wasserbauten werden oft mit Hilfe von Vorsatzschalen aus wasserundurchlässigem und frostbeständigem Stahlbeton saniert. Die Bemessung und Ausbildung der Bewehrung solcher Vorsatzschalen ist in den "Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen – Wasserbau (ZTV-W 219) für Schutz und Instandsetzung der Betonbauteile von Wasserbauwerken" geregelt. Danach sind in den mindestens 30 cm dicken, im Altbeton verankerten Vorsatzschalen sowohl an der Außenseite (Oberfläche) als auch im Übergangsbereich zum Altbeton Bewehrungslagen einzulegen. Die Vorsatzschale ist als direkt belastetes Bauteil und als Bestandteil des Gesamttragwerks für alle maßgebenden Einwirkungen zu bemessen. Dazu gehören die Nachweise für die Verankerung, die Bemessung der Bewehrung in der Schale und bei Erfordernis der Nachweis der Schubkraftübertragung in der Arbeitsfuge zwischen Beton und Betonuntergrund. Es ist zu berücksichtigen, dass besonders bei Schleusen zwischen Vorsatzschale und Altbeton aufgrund der hohen Durchlässigkeit des oft gerissenen Altbetons die Herausbildung eines nicht zu vernachlässigenden Wasserdrucks auftreten kann. Sowohl die hintere, an den Altbeton anschließende Seite als auch die Vorderseite der Vorsatzschale sind zu bewehren. Dabei ist an der Vorderseite eine Mindestbetondeckung von 40 mm (Vorhaltemaß 10 mm) einzuhalten.

Eine wesentliche Aufgabe der beidseitig anzuordnenden Bewehrung der Vorsatzschale ist die Reduzierung der Rissbreiten auf Werte unter 0,25 mm. Die Bewehrung wurde bisher nach DIN 1045 (1988) für zentrischen Zwang bemessen und bestand aus gleichmäßig an Vorder- und Hinterseite der Vorsatzschale angeordneten Lagen aus Stab- oder Mattenstahl. Nach der Bauausführung mussten jedoch häufig ausgeprägte Rissbildungen im Beton mit Rissbreiten von über 0,25 mm festgestellt werden, die entsprechende Nacharbeiten mit den damit verbundenen Störungen im Bauablauf notwendig werden ließen. Im Rahmen der Überarbeitung und Anpassung der ZTV-W 219 an das neue Normenwerk im Stahlbetonbau waren deshalb die Vorgaben für die Ausbildung und Bewehrung solcher Vorsatzschalen zu präzisieren und zu verbessern. Um hierfür eine entsprechende Basis zu schaffen, erfolgten vertiefte Untersuchungen (numerische Vergleichsberechnungen und Messungen in situ), die letztendlich zu den entsprechenden Änderungen in den Abschnitten 3 und 4 der ZTV-W 219 führten.

Die Rissbildung an Vorsatzschalen im Beton ist vorwiegend auf Zwangsspannungen zurückzuführen, deren Ursache in der Wärmeentwicklung des jungen Betons liegt („früher Zwang“). Dabei sind die stark zeitabhängigen mechanischen Eigenschaften des Betons und die Herausbildung der hydratationsbedingten Temperaturfelder von besonderer Bedeutung. Weiterhin spielen die Randbedingungen am jeweiligen Bauteil eine maßgebende Rolle. Bei den vorgenommenen Untersuchungen wurden zunächst numerische Berechnungen an einem zweidimensionalen FEM-Modell unter Berücksichtigung verschiedener Schalendicken, Um-



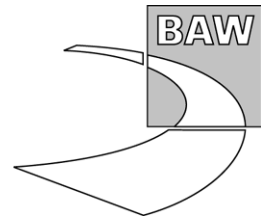
gebungstemperaturen (Sommer / Winter) und Betonrezepturen (Temperaturentwicklung) ausgeführt. Mit den so ermittelten Zwangsspannungen zum Risszeitpunkt und den daraus abgeleiteten Risschnittgrößen konnte eine Bemessung der Mindestbewehrung vorgenommen werden. Nach diesen Rechnungen ist – abweichend von der bisherigen Praxis – die vordere Bewehrung  $A_v$  an der Schalenoberfläche wesentlich stärker auszubilden, als die hintere Bewehrung  $A_h$  in der Übergangszone zum Altbeton.

Aufgrund der Vielzahl an Einflussparametern und der größeren Unsicherheiten solcher stationärer, stark nichtlinearer FEM-Berechnungen mussten neben den theoretischen Untersuchungen auch Messungen in situ durchgeführt werden. An einer durchschnittlich 40 cm dicken Stahlbetonvorsatzschale fanden deshalb Temperaturmessungen, Dehnungsmessungen und Spannungsmessungen in horizontaler Richtung statt. Mit Hilfe der Dehnungsaufnehmer konnten die stark zeitabhängigen Dehnungsfelder im Beton qualitativ gut erfasst werden. Problematisch ist die Umrechnung der Dehnungsmesswerte in Spannungen. Deshalb kommt den Spannungsmessungen bei der Quantifizierung und Interpretation der Messwerte eine besondere Bedeutung zu. Mit den eingesetzten Spannungsaufnehmern konnten bereits gute Erfahrungen bei Messungen an anderen Schleusen gesammelt werden.

Die gemessenen Mittelwerte über die Schalendicke (Beispiel in Bild 1) zeigen, dass sich nach einer kurzen Einmessphase aufgrund der Betonerwärmung zunächst Druckspannungen im Beton herausbilden, die dann jedoch abkühlungsbedingt sehr schnell in Zugspannungen umschlagen. Nach einer gewissen Zeit (ca. 1,5 bis 10 Tage nach der Betonage) überschreiten diese Zugspannungen oft die noch geringe Zugfestigkeit des Betons. Der Beton versagt, und es entstehen die ersten Risse, die zum Spannungsabbau führen. Dabei konzentriert sich die Rissbildung auf den Zeitraum von 1,5 bis 10 Tage nach dem Betonieren.

Aus dem Verlauf der gemessenen Betondehnungen in verschiedenen Abständen zur Schalenoberfläche ist zu erkennen, dass mit Herausbildung der Zugspannung der Dehnungsgradient an der Schalenoberfläche merklich größer als im Übergangsbereich zum Altbeton ist, was auf ein in Oberflächennähe liegendes Maximum der Zugspannungen hindeutet. Insgesamt erlauben die vorliegenden Messergebnisse eine Darstellung der Zwangsbelastung und der Rissbildung im Querschnitt der Betonvorsatzschale und bestätigen die Resultate der numerischen Berechnungen.

Die vorgenommenen Änderungen bezüglich der Bewehrung der Vorsatzschalen im Abschnitt 3 der ZTV-W 219 sind in den Ergebnissen der beschriebenen Untersuchungen begründet. Natürlich ist bei der Sanierung bestehender Wasserbauten eine aufwendige numerische Berechnung des frühen Zwangs – wie im Neubaubereich nach ZTV-W 215 gefordert – u.a. aus Wirtschaftlichkeitsüberlegungen nicht angebracht. Deshalb wurde eine einfache Lösung erarbeitet, die bei ausreichender Zweckbezogenheit eine bequeme und unkomplizierte Bemessung ermöglicht. Wie bisher ist die rissbreitenbegrenzende Mindestbewehrung der Vorsatzschale vereinfacht für zentrischen Zwang nach DIN 1045-1 zu ermitteln. Die Summe dieser Bewehrung  $A_v + A_h$  für den Gesamtquerschnitt ändert sich damit im Vergleich zur bis-



herigen Bemessung mengenmäßig nicht. Die oberflächennahe Bewehrungslage soll jedoch doppelt so stark wie die rückwärtig Lage sein ( $A_v = 2 \times A_h$ ).

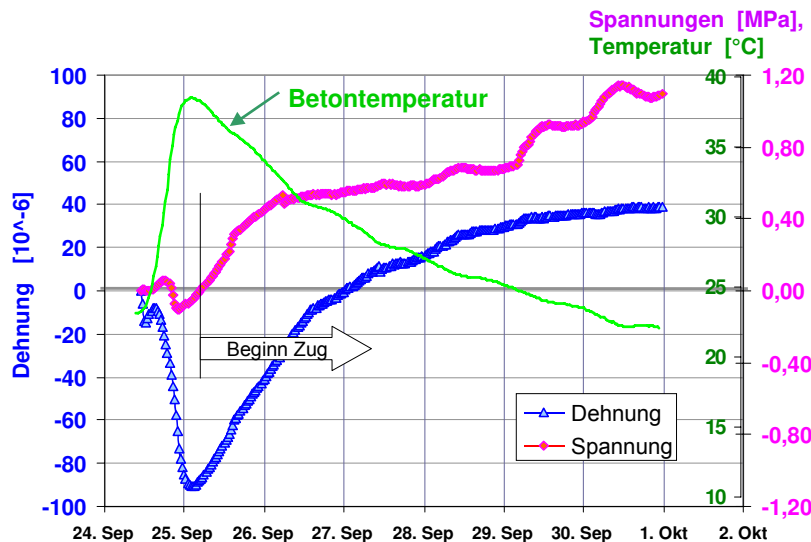
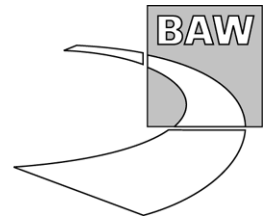


Bild 1 Gemessene mittlere Betonspannungen und -dehnungen in Längsrichtung sowie Temperaturen im jungen Beton einer Stahlbetonvorsatzschale an einer Schleuse

Neben Menge und Lage der zwangverteilenden Mindestbewehrung wird die Rissbildung maßgebend von den Temperaturverhältnissen in der Vorsatzschale geprägt. Je niedriger das Temperaturniveau in der Vorsatzschale während der Abbindephase des Betons ist, desto geringer ist der Rissbildungsgrad. Dieses Temperaturniveau lässt sich besonders über zwei Parameter beeinflussen. Das ist einerseits die Frischbetontemperatur an der Einbaustelle (Begrenzung auf 25 °C) und andererseits der nachfolgende Temperaturanstieg im Schalenquerschnitt, der neben den thermodynamischen Randbedingungen vor Ort maßgebend vom adiabatischen Temperaturanstieg der jeweiligen Betonrezeptur bestimmt wird. Anzustreben ist diesbezüglich eine Rezeptur mit wenig Zement, der wiederum eine geringe Hydratationswärmeentwicklung aufweist. Hier wird bei der Festlegung der Rezeptur eine Optimierung hinsichtlich Rissentwicklung einerseits und Frostbeständigkeit, Verschleißfestigkeit und Verarbeitbarkeit andererseits erforderlich. Dementsprechend wird mit einer Begrenzung der adiabatischen Temperaturerhöhung nach 7 Tagen auf 40 K eine sehr moderate Forderung erhoben.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass mit den im Abschnitt 3 der ZTV-W 219 enthaltenen pragmatischen Lösungen aus angepasster Verteilung der Mindestbewehrung und Einhaltung von Grenztemperaturen im Beton (Bild 2) zukünftig eine merkliche Reduzierung der Rissbildung in Betonvorsatzschalen erwartet werden kann. In diesem Sinne kommt der Erfassung und Dokumentation der Rissbildung an ausgeführten Betonvorsatzschalen eine wichtige Rolle zu.



## ZTV-W 219

### Maßnahmen zur Reduzierung der Rissbildung in Stahlbetonvorsatzschalen infolge frühen Zwangs



**Abstufung der Bewehrung  
an Vorderseite ( $A_v$ ) und  
Hinterseite ( $A_h$ ) der Schale:**

$$A_h = 1/3 A_s < A_v = 2/3 A_s$$

*$A_s$  nach DIN 1045-1 Abschn. 11.2.2  
für zentrischen Zwang ( $k_c = 1,0$ )*

**Begrenzung der Frisch-  
betontemperatur und des  
kalorimetrischen Tem-  
peraturanstiegs:**

$$T_{\text{Frischbeton}} < 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$dT_{\text{Kalorimeter}} < 40 \text{ K}$$

Bild 2 Neufassung der ZTV-W 219, Abschnitt 3: Vorgaben zur Reduzierung der Rissbildung  
im Beton von Stahlbetonvorsatzschalen